

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

## **Chladicí šnekový dopravník**

## **Cooling Screw Conveyor**

Student:

Martin Strípek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Nečas, Ph.D.

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Martin Strípek**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma:

**Chladicí šnekový dopravník  
Cooling Screw Conveyor**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte chladicí šnekový dopravník s posouzením vlivu listů šnekovnice na přenos tepla z chlazené sypké hmoty do chladicího média. Dále navrhněte případné vestavby šnekového hřídele, který by zvýšily množství tepla, přenášené z chlazené hmoty do chladicího média. Chlazený sypký materiál je síran amonný s měrným teplem 983 J/kg/K. Dopravní výkon šnekového dopravníku je 1400 kg/hod, teplota materiálu na vstupu: 590 °C, požadovaná teplota materiálu na výstupu: 150 °C.

- Řešerši z oblasti chladicích šnekových dopravníků.
- Potřebné výpočty přenosu tepla (nejen hřídelem a pláštěm, ale lopatkami šnekovnice).
- Technologické výpočty.
- Návrh chladicího šnekového dopravníku.
- V případě účelnosti i návrh vestaveb, zvyšujících účinnost chlazení.
- Pevnostní výpočty.
- Konstrukční návrh chladicího šnekového dopravníku.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [ 1 ] Polák, J. Bailotti, K. Pavliska, J. Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0493-X
- [ 2 ] Cvekl, Z. Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení. Praha: SNTL Praha, 1976
- [ 3 ] Dražan, F., Kupka, L.: Transportní zařízení. Praha: SNTL/SVTL Praha 1966.
- [ 4 ] Polák, J., Pavliska J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Skriptum, Praha: VŠB-TU Ostrava 2001. ISBN 80-248-0043-8.
- [ 5 ] Pešat, Z.: Manipulace s materiálem v hutích I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1992, ISBN 80-7078-107-6
- [ 6 ] Screw conveyor and bucket elevator, Engineering guide, [www.kwsmfg.com](http://www.kwsmfg.com)
- [ 7 ] Prospekty, firemní materiály

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Nečas, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



---

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

Štěpánek

podpis studenta

Prohlašuji že,

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Střípek Martin

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hnojice 65

785 01 Šternberk

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STRÍPEK, M. *Chladicí šnekový dopravník : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 66 s. Vedoucí práce: Nečas, J.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh chladicího šnekového dopravníku s posouzením vlivu listů šnekovnice na přenos tepla z chlazené sypké hmoty do chladicího média.

V první části je popsána rešerše chladicích šnekových dopravníků. Následující část obsahuje technologické výpočty, výpočty pro přenos tepla na hřídeli, pláště a lopatek šnekovnice a pevnostní výpočty. V poslední části je popsán technický popis navrhnutého chladicího šnekového dopravníku. Sestavný výkres chladicího šnekového dopravníku a sestavný výkres šnekovnice je součástí přílohy.

## THE ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

STRÍPEK, M. *Cooling Screw Conveyor : Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2016, 66 p. Thesis supervisor: Nečas, J.

The bachelor thesis is focussed on the design of cooling screw conveyer with an adjudication of the action of blade screw to transfer heat from cooling bulk solids in the cooling medium.

The first part describes the technology used on cooling screw conveyers. The following part includes technological calculations, heat transfer on shaft, casing and blade screw and strenght calculations. In the last section there is the technical description of the proposition of cooling screw conveyer. The assembly drawing of the cooling screw conveyor and the assembly drawing of the screw is attached to this thesis.

# Obsah

Úvod.....	13
1 Úvod do problematiky .....	14
1.1 Chladiče.....	14
1.2 Ohřívače .....	15
1.3 Výměník tepla .....	15
1.3.1 Rozdělení podle konstrukce.....	15
1.3.2 Rozdělení podle směru.....	17
1.3.3 Výpočet souproudého a protiproudého výměníku.....	18
1.3.4 Rozdělení podle účelu.....	19
1.4 Přenos tepla .....	20
1.5 Jednotrubkový chladič .....	24
1.6 Dvoutrubkový chladič .....	25
1.7 Vertikální chladič .....	25
1.8 Chladicí šnekový dopravník pro chlazení sypkých a lepidelných materiálů .....	27
1.9 Šnekový chladič - trubková šnekovnice.....	28
1.10 Rotační přívody DEUBLIN.....	28
2 Výpočet chladicího šnekového dopravníku .....	31
2.1 Výpočet šnekového dopravníku .....	32
2.2 Přenos tepla hřídele a pláště .....	40
2.2.1 Výpočet přestupu tepla mezi stěnou hřídele a chladicí kapalinou.....	41
2.2.2 Výpočet přestupu tepla mezi stěnou pláště a chladicí kapalinou.....	44
2.2.3 Celkový součinitel přestupu tepla mezi stěnami a chladicí tekutinou .....	47
2.2.4 Výpočet potřebné délky chladicí plochy chladiče .....	47
2.2.5 Přepočet tepelného výkonu chladiče pro zvolenou délku.....	48
2.3 Přenos tepla listů šnekovnice .....	49

3	Konstrukční výpočty.....	52
3.1	Kontrola těsného pera ČSN 02 2562.....	52
3.2	Kontrola průhybu šnekovnice .....	54
4	Výsledný 3D model .....	57
5	Technický popis .....	60
6	Závěr .....	61
	Seznam použité literatury .....	63
	Seznam obrázků .....	65
	Přílohy.....	66



## Seznam použitých symbolů

$b$	$[m]$	šířka těsného pera
$c_s$	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
$c_v$	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vody
$D$	$[m]$	průměr šnekovnice
$d$	$[m]$	průměr konce hřídele
$d_1, d_3, d_5, d_7$	$[m]$	vnější průměr trubky
$d_2, d_4, d_6, d_8$	$[m]$	vnitřní průměr trubky
$D_{hh}$	$[m]$	hydraulický průměr hřídele
$D_{hp}$	$[m]$	hydraulický průměr pláště
$d_n$	$[m]$	nový průměr teplosměnné plochy
$d_s$	$[m]$	průměr trubky šneku
$e$	$[-]$	Eulerovo číslo
$E$	$[Pa]$	modul pružnosti v tahu
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
$h$	$[m]$	stoupání šnekovnice
$h$	$[m]$	výška těsného pera
$h_z$	$[m]$	výška žebra
$I$	$[m^4]$	celkový kvadratický moment trubek
$I_1, I_2$	$[m^4]$	kvadratický moment trubek
$i$	$[-]$	převodový poměr
$J_1$	$[kg \cdot m^{-2}]$	moment setrvačnosti materiálu a šnekovnice
$J_c$	$[kg \cdot m^{-2}]$	celkový moment setrvačnosti
$J_m$	$[kg \cdot m^{-2}]$	moment setrvačnosti motoru
$K$	$[N]$	celkový odpor materiálu
$k$	$[-]$	bezpečnost průhybu
$k_d$	$[-]$	dovolená bezpečnost
$k_\varphi$	$[-]$	součinitel plnění
$k_v$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla válcovou stěnou
$L$	$[m]$	délka chladičové plochy
$L_z$	$[m]$	délka žebra
$l$	$[m]$	délka těsného pera

$l_v$	[m]	otlačovaná délka těsného pera
$M_a$	[N · m]	rozběhový moment motoru
$M_k$	[N · m]	skutečný točivý moment
$M'_k$	[N · m]	předběžný točivý moment
$M_{km}$	[N · m]	výstupní točivý moment motoru
$M_{SM}$	[N · m]	statický moment od zatížení dopravníku
$m$	[kg]	hmotnost dopravovaného materiálu
$m_m$	[kg · s <sup>-1</sup> ]	hmotnostní tok materiálu
$m_{\dot{s}}$	[kg]	hmotnost šnekovnice
$m_v$	[kg · s <sup>-1</sup> ]	hmotnostní tok vody
$m_{vh}$	[kg · s <sup>-1</sup> ]	hmotnostní tok pro hřídel
$m_{vp}$	[kg · s <sup>-1</sup> ]	hmotnostní tok pro plášť
$m_{v\dot{s}}$	[kg]	hmotnost vody v trubce šneku
$m_{\dot{z}}$	[-]	parametr žebra
$Nu_h$	[-]	Nusseltovo číslo pro hřídel
$Nu_p$	[-]	Nusseltovo číslo pro plášť
$n$	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky šneku
$n_e$	[-]	počet motorů
$n_{kr}$	[s <sup>-1</sup> ]	kritické otáčky
$n_m$	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru
$n_{opt}$	[s <sup>-1</sup> ]	optimální otáčky
$n_{sk}$	[s <sup>-1</sup> ]	skutečné otáčky
$n_v$	[s <sup>-1</sup> ]	výstupní otáčky motoru
$o_h$	[m]	obvod mezikruží mezi trubkami hřídele
$o_p$	[m]	obvod mezikruží mezi trubkami pláště
$o_{\dot{z}}$	[m]	obvod žebra
$P$	[W]	příkon motoru
$P'$	[W]	předběžný příkon motoru
$P_k$	[W]	výkon na hřídeli dopravníku
$Pr$	[-]	Prandtlovo číslo
$p$	[Pa]	napětí v tlaku
$p_D$	[Pa]	dovolené napětí v tlaku
$p_h$	[%]	procentuální poměr hřídele

$p_p$	[%]	procentuální poměr pláště
$Q$	[t · h <sup>-1</sup> ]	dopravní množství
$Q_h$	[W]	teplo odvedené do pláště
$Q_{ch}$	[W]	tepelný výkon chladiče
$Q_{chs}$	[W]	skutečný odvedený výkon chladiče
$Q_p$	[W]	teplo odvedené do pláště
$Q_{\dot{z}}$	[W]	teplo odvedené šnekovnicí
$q$	[kg · m <sup>-1</sup> ]	měrná hmotnost dopravovaného materiálu
$q_s$	[N · m <sup>-1</sup> ]	spojité zatížení
$Re_h$	[-]	Reynoldsovo číslo proudění v hřídeli
$Re_p$	[-]	Reynoldsovo číslo proudění v plášti
$S_h$	[m <sup>2</sup> ]	obsah mezikruží mezi trubkami hřídele
$S_p$	[m <sup>2</sup> ]	obsah mezikruží mezi trubkami pláště
$S_{pl}$	[m <sup>2</sup> ]	otlačovaná plocha těsného pera
$S_s$	[m <sup>2</sup> ]	střižná plocha těsného pera
$S_{\dot{z}}$	[m <sup>2</sup> ]	obsah žebra
$t_1$	[m]	výška těsného pera v drážce náboje
$t_1, t_2, t_3, t_4$	[m]	tloušťka stěny trubky
$t_{1m}$	[K]	vstupní teplota chlazené látky
$t_{1v}$	[K]	vstupní teplota chladicí kapaliny
$t_{2m}$	[K]	výstupní teplota chlazené látky
$t_n$	[m]	nová tloušťka teplosměnné plochy
$t_r$	[s]	dobu rozběhu dopravníku
$t_{\dot{z}}$	[m]	tloušťka žebra
$v$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost šnekovnice
$v_h$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost chladicí kapaliny v hřídeli
$v_p$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost chladicí kapaliny v plášti
$w$	[-]	součinitel odporu materiálu
$y$	[m]	průhyb šnekovnice
$y_{max}$	[m]	maximální průhyb šnekovnice
$\alpha$	[°]	úhel stoupání šneku
$\alpha_c$	[W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]	celkový součinitel přestupu tepla mezi stěnami a kapalinou

$\alpha_h$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla z kapaliny do stěny hřídele
$\alpha_p$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla z kapaliny do stěny pláště
$\alpha_s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla chlazené látky
$\Delta_t$	$[K]$	logaritmický teplotní spád
$\Delta_{tm}$	$[K]$	teplotní rozdíl chlazené látky
$\Delta_{tv}$	$[K]$	teplotní rozdíl chladicí kapaliny
$\varepsilon$	$[^\circ]$	sklon dopravníku
$\eta_c$	$[-]$	celková účinnost pohonu
$\lambda$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel sklonu dopravníku
$\lambda_t$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost trubky
$\lambda_v$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost kapaliny
$\pi$	$[-]$	Ludolfovo číslo
$\rho$	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota látky
$\rho_s$	$[kg \cdot m^{-3}]$	sypná hmotnost
$\tau_{DS}$	$[Pa]$	dovolené napětí ve střihu
$\tau_S$	$[Pa]$	napětí ve střihu
$\nu$	$[m \cdot s^{-2}]$	kinematická viskozita kapaliny
$\omega$	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost

# Úvod

Chladicí šnekový dopravník se využívá v mnoha odvětvích průmyslu. Nejčastěji se nachází v cementárnách, vápenkách, v potravinářském a chemickém průmyslu. Rozeznáváme přímé a nepřímé druhy chlazení materiálu. Chladicí šnekové dopravníky jsou konstruovány na principu nepřímého chlazení. Při návrhu chladicího šnekového dopravníku se musí využívat největší teplosměnné plochy. Výhodou chladicího šnekového dopravníku je, že při chlazení je nulová prašnost.

Cílem bakalářské práce je návrh chladicího šnekového dopravníku a posoudit vliv listů šnekovnice na přenos tepla z chlazené sypké hmoty do chladicího média. Zadání bakalářské práce zadala firma DSD Dostál, a.s. sídlící v Dřevohosticích.

V úvodní části bakalářské práce jsem popsal rešerši chladicích šnekových dopravníků. Další část práce obsahuje technologické výpočty, zde jsem navrhl průměr šnekovnice a motor chladicího šnekového dopravníku. Technologický výpočet obsahuje i výpočet přenosu tepla hřídele, pláště a přenos tepla lopatkami šnekovnice. V konstrukčním výpočtu jsem se věnoval kontrole pera mezi hřídelí šnekovnice a motorem a průhybu šnekovnice. V závěru práce je popsán technologický popis chladicího šnekového dopravníku.

Přílohy bakalářské práce obsahují sestavný výkres chladicího šnekového dopravníku a sestavný výkres šnekovnice.

# 1 Úvod do problematiky

## 1.1 Chladiče

Chlazení je jedno z nejjednodušších procesních kroků při zpracování sypkých materiálů v mnoha průmyslových oblastech. Sypké materiály musí být nejprve zchlazeny a až poté se mohou dopravovat k dalšímu zpracování. [1]

Chladiče jsou zkonstruovány tak, aby byla zaručena jejich spolehlivost při provozu, využití maximální účinnosti chlazení, co nejmenší údržba a minimální náklady na jejich provoz. Chladiče pracují samostatně nebo ve spojení s jinými stroji.

Rozeznáváme dva druhy chlazení: přímé chlazení a nepřímé chlazení. [2]

### **Přímé chlazení:**

Chlazený materiál je chlazen v bubnu, do kterého je přiváděna ve správném množství voda nebo se využívá přisávání vzduchu. Na výstupu se může ohřátá voda nebo ohřátý vzduch využívat k dalšímu použití, jestliže je chladič ve spojení s dalším technologickým procesem. Přímé chlazení je velmi rychlé a účinné na snížení teploty materiálu. Využívá se i kombinace přisávaného vzduchu a vstřikování vody. Nevýhodou přímého chlazení je, že dochází ke styku chladicího média a chlazeného materiálu a tím se může zhoršit kvalita chlazeného produktu. [2]

### **Nepřímé chlazení:**

Chlazený materiál je ochlazován za pomoci vody, která je nastříkovaná na vnější plášť. Materiál se ochladí při průchodu bubnu o vnitřní plášť chladiče. U nepřímého chlazení je výhoda, že chlazené médium nepříjde do styku s materiálem, který chladíme a nedochází tak k ovlivnění kvality výsledného produktu.

Chlazený materiál je ochlazován za pomoci vody, která proudí vnějším pláštěm. V některých případech může vést i chladicí médium v tělesech, které dopravují chladicí

materiál. U nepřímého chlazení je výhoda, že chlazené médium nepřijde do styku s materiálem, který chladíme a nedochází tak k ovlivnění kvality výsledného produktu. Nevýhodou je složitá konstrukce chladiče. [2]

## **1.2 Ohřivače**

Materiál je ohříván při průchodu speciálním žlabovým pláštěm, dvojitým pláštěm nebo pomocí dutého hřídele, na kterém je šroubovice. Ohřívání je prováděno za pomoci vody, páry a horkého oleje. U ohřívání materiálu se setkáváme s přímým a nepřímým ohřevem. Při ohřívání se musí docílit co největší účinnosti, malých nároků na údržbu a malých nákladů na provoz. [3]

## **1.3 Výměník tepla**

Výměník tepla slouží k předávání tepelné energie mezi dvěma látkami, které nemají stejnou teplotu.

Výměníky jsou konstruovány tak, aby média byla oddělena stěnou, která odděluje média proti smíchání, nebo naopak mohou být výměníky, které mají přímý kontakt chlazeného média s chlazeným médiem. Používají se pro chlazení, vytápění a klimatizaci. Výměníky můžeme rozdělit podle: konstrukce, směru proudění kapalin a podle účelů. [4]

### **1.3.1 Rozdělení podle konstrukce**

#### **Směšovací**

U výměníku dochází k přímému kontaktu mezi ohříváním a chlazeným médiem, směšují se tak, že vytvoří směs pracovních látek. Směšovací výměník se nejčastěji využívá u chlazení páry (plynu) za pomoci vstříknutí kapaliny. Typický příklad tohoto výměníku je chladicí věž. Nevýhodou je, že se při chlazení smíchá chladicí médium s chlazeným médiem. [5]

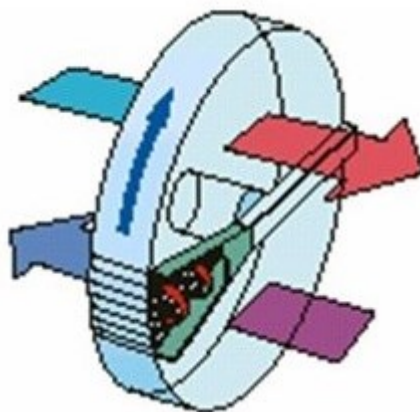
## **Regenerační**

Elektrický motor pohání rotující teplosměnnou a akumulaci hmotu, která je připevněna k rámu. Akumulační rotor je vyroben z hliníkového plechu, plastu nebo z tvrzené papíroviny. Vlhkost se přenáší hydrofobickou vrstvou nanesenou na teplosměnnou plochu.

Pracovní látky v topné periodě teplo přijímají a ochlazují teplejší látku (spaliny), naopak ve vychlazovací periodě teplo uvolňují a ohřívají látku chladnější (vzduch).

Mezi hlavní výhody patří velká účinnost, malé rozměry, přenos citelného tepla a vázaného tepla (vlhkost).

Příklad regeneračního výměníku je ohřívací pec v hutnictví nebo ohřev spalovacího vzduchu v elektrárně. [6] [7]



Obrázek 1 Regenerační výměník [7]

## **Rekuperační**

Chlazené médium a ohřívání médium je odděleno pevnou nepropustnou stěnou, která zabraňuje, aby se média smíchala. Tepelný tok prostupuje z chlazeného média do chladičného média stěnou mezi médii. K výhodě rekuperačního výměníku patří, že nedochází k přímému kontaktu chlazeného a ohřívání média.

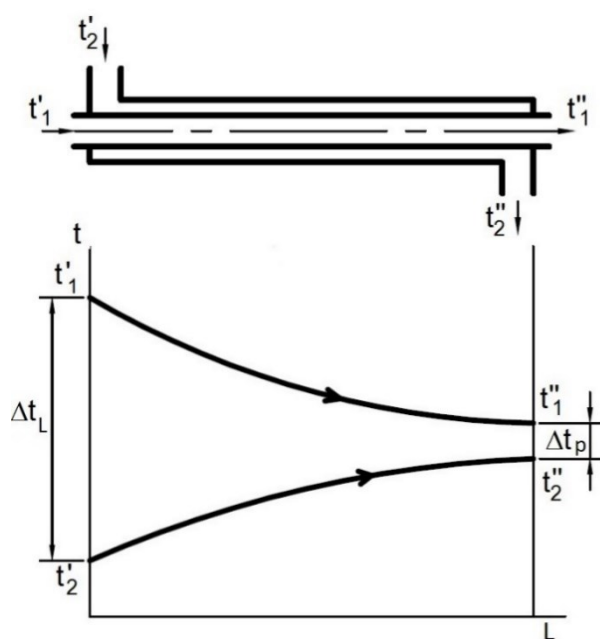
Rekuperační výměníky můžeme rozdělit podle směru a účelu. Popsáním jednotlivých rozdělení se zabývám v následujících odstavcích. [5]



### 1.3.2 Rozdělení podle směru

#### Souproudé uspořádání

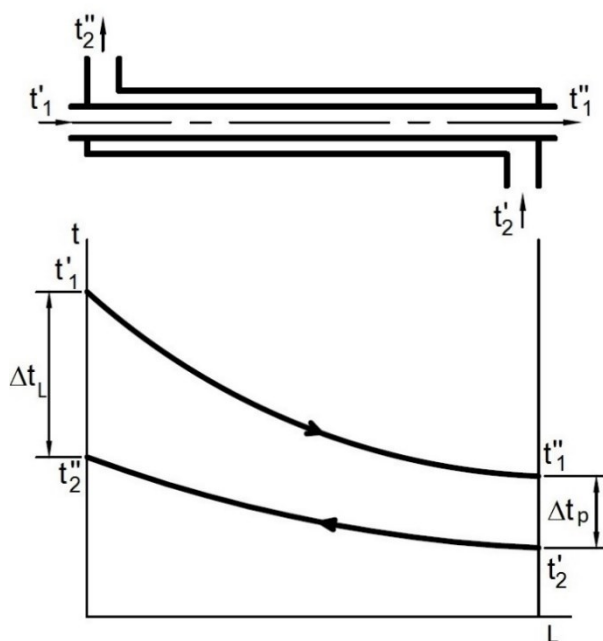
Směry proudění chlazeného a ohřívaného média jsou rovnoběžné a směr proudů mají stejný. Teplotní spád souproudého výměníku má nejmenší efektivitu. Výstupní teplota chlazeného média je vyšší než výstupní teplota ohřívaného média. [5]



Obrázek 2 Souproudý výměník

### **Protiproudé uspořádání**

Směry proudů jsou rovnoběžné, ale s opačným smyslem proudění. Teplotní spád má zde nejvyšší efektivitu. Protiproudý výměník dosahuje nejnižší teploty chlazeného média nebo nejvyšší teploty ohřívaného média. [5]



Obrázek 3 Protiproudý výměník

### **Křížové uspořádání**

Osy proudů v kolmém průmětu svírají úhel 90°. Výhodou těchto výměníků je větší přenos tepla a konstrukční provedení bývá jednodušší. [5]

### **1.3.3 Výpočet souproudého a protiproudého výměníku**

Tepelná bilance výměníku:

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot \Delta t_1 = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot \Delta t_2 \quad (1.3.3.1)$$

Tepelný tok při prostupu tepla mezi dvěma tekutinami:

$$\dot{Q} = k_v \cdot \bar{\Delta t} \cdot A = k_R \cdot \bar{\Delta t} \cdot l \quad (1.3.3.2)$$

Střední logaritmický teplotní spád:

$$\bar{\Delta t} = \frac{\Delta t_L - \Delta t_p}{\ln \frac{\Delta t_L}{\Delta t_p}} \quad (1.3.3.3)$$

souproudý výměník:

$$\Delta t_L = t'_1 - t'_2 \quad (1.3.3.4)$$

$$\Delta t_p = t''_1 - t''_2 \quad (1.3.3.5)$$

protiproudý výměník:

$$\Delta t_L = t'_1 - t''_2 \quad (1.3.3.6)$$

$$\Delta t_p = t''_1 - t'_2 \quad [8] \quad (1.3.3.7)$$

#### 1.3.4 Rozdělení podle účelu

- ohříváky - jsou charakteristické tím, že teplota média se zvyšuje, ale médiu se nezmění skupenství
- chladiče - teplota ochlazovaného média se snižuje a médium si zanechává své skupenství
- výparníky a odparky - kapalně médium, které se ohřívá, se změní v páru
- kondenzátory - pára se změní na kapalně skupenství
- přehříváky a mezipřehřávky - používá se k vysoušení mokré a zároveň zvyšování teploty syté nebo přehřáté páry
- sušárny - v pevném skupenství se za pomoci přístupu tepla snižuje vlhkost
- termické odplyňovány vody - voda, která je přivedena na bod varu, vylučuje pohlčený plyn

- otopná tělesa ústředního vytápění - okolní vzduch se ohřívá za pomoci otopného média
- barbotážní - za použití vody se probublávají plyny nebo páry [9]

## 1.4 Přenos tepla

### Přenos tepla z jedné látky na druhou látku je dán základními pravidly:

- teplo se přenáší z teplé látky na látku chladnější
- mezi látkami musí být teplotní rozdíl
- ztráta tepla z teplejší látky je shodná s množstvím tepla, které přijme chladnější těleso, toto pravidlo platí, pokud zanedbáme ztráty tepla, které unikly do okolí

### Rozdělení přenosu tepla

#### a) Sáláním (zářením)

Tělesa, která mají teplotu vyšší jak 0 K, vyzařují energii, která je ve formě elektromagnetických vln. Přenos probíhá rychlostí světla.

#### b) Vedením (kondukce)

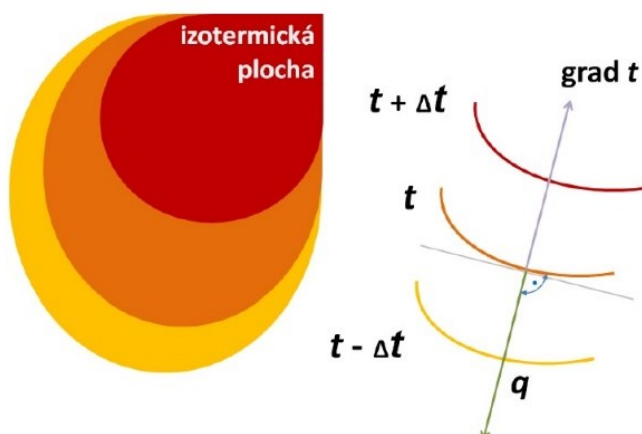
Přenos probíhá přímým stykem pevných těles a kapalin, které mají různou teplotu. Látky mohou nebo nemusí být v pohybu. Kmitáním atomů a molekul dojde k přenosu energie. Teplota z teplejšího tělesa přechází na těleso o teplotě menší. [10]

### Výpočet vedení tepla

#### Teplotní pole

Může být definováno třemi (x, y, z), dvěma (x, y) nebo jednou (x) souřadnicí. Nestacionární vedení tepla je, že přenos je závislý na čase. Naopak přenos, který není závislý na čase, je stacionární vedení tepla. Teplotní pole se dá představit na izotermické ploše, což je místo, ve kterém je stejná teplota, jak je znázorněno na obrázku (Obrázek 4). [10]

$$t = f(x, y, z, t) \quad (1.4.1)$$



Obrázek 4 Teplotní pole [10]

### Gradient teploty

V látce se teplo mění všemi směry. Zvýšení teploty je dáno gradientem teploty, který je kolmým vektorem na izotermu a směr má k narůstající teplotě.

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z} = \nabla t \quad (1.4.2)$$

### Tepelný tok

Je definovaný množstvím tepla, které je přeneseno přes izotermický povrch za čas. Hustota tepelného toku  $q$  je vztažena na  $1 \text{ m}^2$  tepelného toku.

$$P = q \cdot S \quad (1.4.3)$$

### Množství tepla

Množství tepla, které prochází izotermickou plochou, se vypočítá součinem tepelného toku a času.

$$Q = P \cdot \tau = q \cdot S \cdot \tau \quad (1.4.4)$$

### Součinitel tepelné vodivosti

Je fyzikální tepelný parametr závisující na tlaku, chemickém složení a teplotě. Součinitel se určuje pokusem pro každou látku různou metodou. Metody mohou být laserové, pomocí horké desky, odporové, atd.. V dnešní době se používají moderní experimentální měřicí přístroje. Součinitel je důležitý pro výpočet chlazení materiálu, ohřevu materiálu a přestup tepla.

$$\lambda = - \frac{Q}{\text{grad } t \cdot S \cdot \tau} \quad [10] \quad (1.4.5)$$

### Výpočet válcové stěny pro $n$ -vrstev

Hustota tepelného toku na 1 m délky válcové stěny složené z  $n$  vrstev

$$\dot{q}_v = k_v \cdot (t_1 - t_2) \quad (1.4.6)$$

### Součinitel prostupu tepla válcovou stěnou

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{\alpha_1 \cdot r_1} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_{n+1}} \right]} \quad (1.4.7)$$

Prostup tepla stěnou pro délku  $L$  (m)

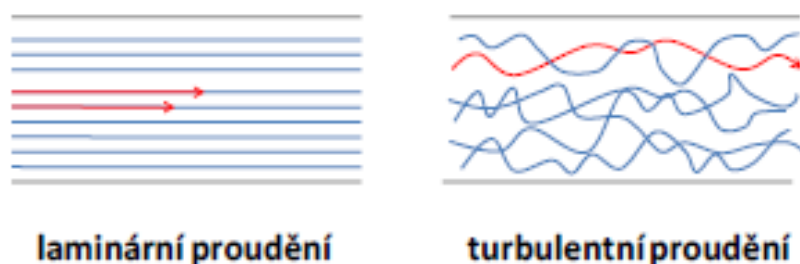
$$\dot{Q}_v = \dot{q}_v \cdot L = k_v \cdot L \cdot (t_1 - t_2) \quad [8] \quad (1.4.8)$$

### **c) Prouděním (konvekce)**

Tento přenos tepla se vyskytuje u kapalin, kde dochází k výměně tepla mezi kapalinou a pevnou látkou. Může docházet i ke konvekci mezi dvěma kapalnými látkami, dvěma plynnými látkami a mezi kapalnou a plynnou látkou. Vzniká při proudění mikročástic tekutiny z jedné teploty do jiné teploty.

Rozlišujeme proudění laminární a turbulentní. U laminárního proudění se částice pohybují rovnoběžně. Částice při turbulentním proudění mají větší rychlost než u

laminárního proudění a tím dochází, že se částice pohybují všemi směry. Dochází tak k míšení tekutiny. [10]



Obrázek 5 Laminární a turbulentní proudění [10]

### **Přestup tepla při konvekci**

Tekutina a pevná látka

$$q_{konvekce} = -\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = \alpha_{kon} \cdot (t_{povrch} - t_{tekutina}) \quad (1.4.10)$$

Součinitel přestupu tepla konvekcí

$$\alpha_{kon} = -\frac{\lambda}{t_{povrch} - t_{tekutina}} \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (1.4.11)$$

### **Reynoldsovo kritérium**

Podle bezrozměrné hodnoty rozhodujeme, zda jde o proudění turbulentní nebo laminární. Pro turbulentní proudění platí, že  $Re > 10\,000$  a pro laminární  $Re < 2300$ . Hodnota  $Re = 2300$  až  $10\,000$  je oblast přechodová a kritérium je kritická hodnota, označení má  $Re_{kr}$ .

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad [10] \quad (1.4.12)$$

## 1.5 Jednotrubkový chladič

Trubkový žlab tvoří nosnou konstrukci chladiče. Žlab má dvojitou stěnu a dutý hřídel, v nichž proudí chladicí voda. Teplo materiálu je přenášeno do chladicí vody.

Ve žlabu jsou umístěny příruby pro přívod a odvod materiálu. Šneková hřídel je umístěna ve valivých ložiskách, které jsou uloženy v přírubových domcích. Přívod i odvod chladicí vody je realizovaný pomocí rotačních přívodů, našroubované na konci duté hřídele. Duté hřídele pohání nástrčné převodovky s elektromotory.

Pro součásti, které jsou chlazeny vodou, se používá materiál 17 240 a pro díly chladiče se používá materiál 17 251.

Výhodou těchto chladičů je dlouhý provoz bez údržby, minimální hluk a provoz bez jakéhokoliv seřízení. [11]



Obrázek 6 Jednotrubkový chladič [12]



## 1.6 Dvoutrubkový chladič

Chladič je tvořen dvěma šneky, které jsou umístěny těsně vedle sebe ve dvou trubkách. Chladicí voda protéká dutými hřídeli šneků, dvojíty stěnami trubek a víkem. Teplo materiálu je přenášeno do chladicí vody. Ke zvýšení účinnosti chlazení dopomáhají lopatky navařeny na šnekovnici, materiál se pomocí nich promíchá.

U tohoto typu chladiče jsou použity stejné rotační přívody, poháněcí stanice a stejný materiál chladiče jako u jednotrubkového chladiče. [11]



Obrázek 7 Dvoutrubkový chladič [12]

## 1.7 Vertikální chladič

Chladicí nádoba je uložena svisle a uvnitř je uložen obvodový šnekový dopravník. Na dno chladiče je dopravován chlazený materiál, na kterém dochází k načeření. Po načeření materiálu stěrače, umístěny na nosném koši, posouvají materiál na obvodový šnek. Šnekové lopatky zvedají materiál nahoru po chlazené stěně směrem k výpadu. K přenosu tepla dochází mezi materiálem, chlazenou stěnou a chladicí vodou.

Chladicí voda ztéká z horní části víka do obvodového rozdělovacího kanálu, voda rovnoměrně stéká po vnějším plášti. Ve spodní části je sběrný kanál, do kterého se shromažďuje ohřátá voda. Ta se dále používá na chlazení materiálu, ale napřed se musí

ochladit a poté se vrací zpět do chladicího systému, nebo se využívá jako teplá užitková voda.

Do vnějšího pláště jsou zavedeny vzduchové trysky, které pomáhají ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu kolem chladiče, dochází tak k odpaření vody ze stěny chladiče. Nasycené páry vodou jsou pak odváděny potrubím do výpustného komína. Zabraňuje se tak k namrzání okolí kolem chladiče v zimních měsících.

Čeřící desky na dně chladiče a vzduchové trysky jsou napojeny na tlakový vzduch z ventilátoru. Šnekový dopravník je poháněn úhlovou převodovkou v horizontální poloze i s motorem. Převodovka s motorem se nachází pod dnem chladiče.

Mezi výhody vertikálního chladiče řadíme, že ochlazovaný materiál je dokonale oddělen od chladicí vody a nemůže dojít ke smíchání látek a vzduchové trysky zvyšují výkon chladiče. [11]

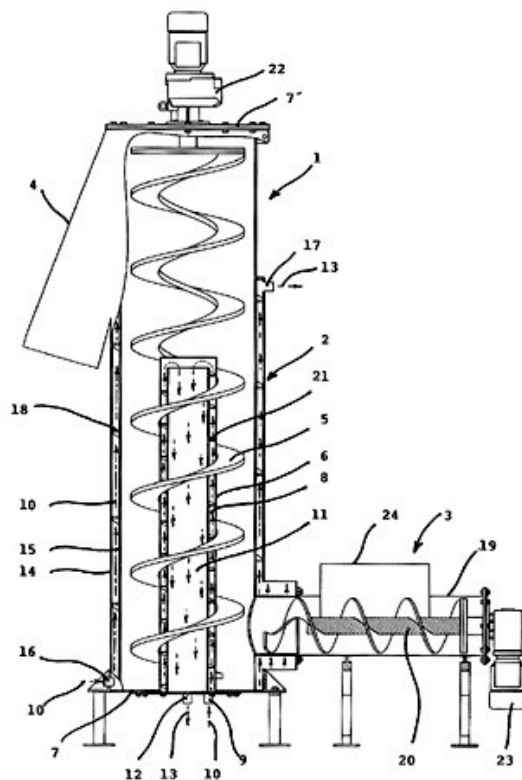


*Obrázek 8 Vertikální chladič [11]*

## 1.8 Chladicí šnekový dopravník pro chlazení sypkých a lepkavých materiálů

Chladicí šnek se skládá z válcového pláště, který je vertikálně umístěn. Plášť má dvojitou stěnu a v něm je spirálová přepážka a proudí v něm chladicí médium. Uvnitř pláště je bezosá spirála uložena v horním čelu pláště a spojena elektromotorem. Do spodní části se přivádí horký materiál, který spirála vynáší nahoru k výsypce. Ke spodnímu čelu je přivařeno uzavřené chladicí těleso, je uloženo ve vnitřním prostoru spirály a spirála se kolem něho nezávisle otáčí. Chladicí těleso je tvořeno dvojitou stěnou, v kterém je přivařena spirálová přepážka a prochází nim chladicí médium. Ohřáté chladicí médium proudí vnitřním prostorem k odvodu a zde se využívá k opětovnému chlazení nebo do odpadu.

Výhoda tohoto chladiče spočívá v tom, že na přívod chladicího média nepotřebujeme žádné rotační přívody. Nemusíme přivařovat šnekovnici ke hřídeli, což je další výhoda tohoto chladicího šneku. [13]



Obrázek 9 Šnekový dopravník pro chlazení sypkých a lepkavých materiálů [13]

## 1.9 Šnekový chladič - trubková šnekovnice

Šnekové chladičí zařízení je typické šnekovnicí, která je vytvarovaná z trubek, v nichž proudí voda. Na dutou hřídel je přivařena trubková šnekovnice. Chladičí médium je přiváděno do hřídele a dále je vedeno do trubkové šnekovnice, Po protečení trubky se vrací do duté hřídele, kde se odvádí pryč z hřídele. Vnější plášť je opatřen vstupy pro přívod a odvod chladičího materiálu.



*Obrázek 10 Šnekový chladič - trubková šnekovnice [14]*

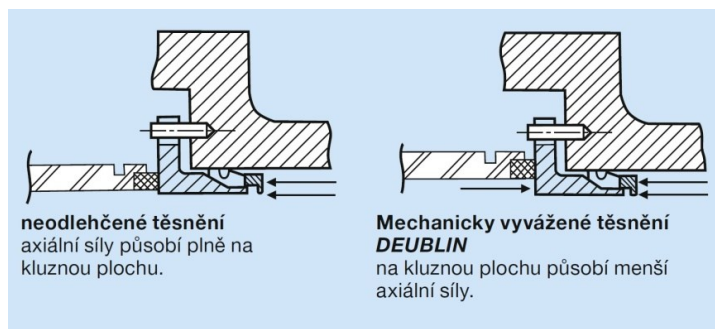
## 1.10 Rotační přívody DEUBLIN

Rotačních přívodů se využívá všude tam, kde je zapotřebí, aby se do rotačních částí strojů (vřeten, válců, hřídelí a dalších) přiváděly a odváděly chladivé emulze, voda, maziva, oleje, páry a ostatní média.

### **Princip těsnění**

Jedny z prvních rotačních přívodů používaly "netlumený" tlak média využívající vzájemného přitlačení těsnících ploch. Bylo to logické, při větším tlaku se zvětšovala síla, která utěsnila spoje. Proto se jim říkalo tlakové spoje. Nevýhodou spojení bylo, že se rychle opotřebovávaly těsnící spoje, na které působil vysoký tlak. Životnost proto byla neuspokojivá.

Firma DEUBLIN si všimla této nevýhody a zdokonalila součást o technologii vyváženého mechanického spojení. Využitím vyvážením sil se nachází trvalá mazací vrstva mezi těsnícími plochami. Výsledkem bylo, že životnost se zvětšila a minimalizovalo se tření. Silná pružina tlačí plovoucí kluzný kroužek proti rotoru v beztlakém systému pro dosažení těsnosti.



Obrázek 11 Těsnění rotačního přívodu [15]

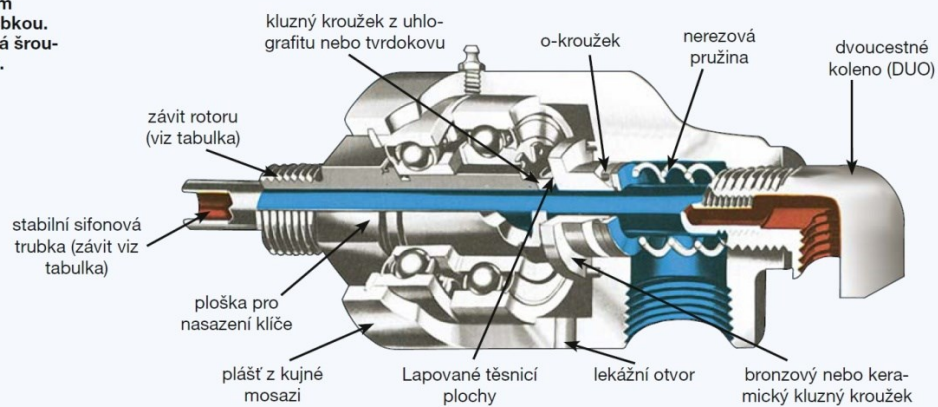
### Výroba těsnících kroužků

Těsnící kroužky se vyrábí z karbonu grafitu, keramiky, tvrzené nástrojové oceli, karbidu křemíku, bronzu nebo tvrdokovu a je zde dosažena drsnost Ra 0,025 za pomoci jemného lapování. Kromě drsnosti jsou docíleny i rovné plochy 2 světelných pásů, které se kontrolují planparalelními skleněnými deskami za pomoci monochromatického světla. [15]



Obrázek 12 Plochy 2 světelných pásů [15]

Řez víceúčelovým rotačním  
přívodem se sifonovou trubicou.  
Jednocestné provedení má šrou-  
bový uzávěr místo kolínka.



Obrázek 13 Rotační přívod DEUBLIN [15]

## 2 Výpočet chladicího šnekového dopravníku

### Volba chladicího šnekového dopravníku

K chlazení materiálu použiji nepřímého chlazení. Chladič bude zkonstruován jako rekuperační výměník, využiji nepropustné stěny, aby se chlazená a ohřívaná média nesmíchala. Jako chladicí médium použiji vodu, která bude proudit v dvojité stěně šnekovnice a v dvojité stěně pláště. Chlazený materiál vůči chladicí kapalině bude mít opačný směr proudění.

Ke zvýšení účinnosti chlazení umístím chladicí šnek pod úhlem a na listech šnekovnice se přivaří lopatky. Ty potom při dopravě materiálu míchají chlazený materiál a zvyšují tím účinnost chlazení.

Sklon šnekového dopravníku  $\varepsilon$  a součinitel plnění  $k_\phi$ , byl doporučen firmou DSD Dostál, a.s. pro lepší přenos tepla mezi chlazeným materiálem a chladicím médiem.

*Tabulka 1 Zadané hodnoty*

Q	1 400	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
$c_s$	983	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$t_{1m}$	590	$^{\circ}\text{C}$
$t_{2m}$	150	$^{\circ}\text{C}$

*Tabulka 2 Dodatečně zadané hodnoty*

$\rho_s$	450	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\varepsilon$	20	$^{\circ}$
$k_\phi$	0,98	-
$\alpha_s$	43	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$\lambda_t$	17	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$t_{1v}$	20	$^{\circ}\text{C}$

## 2.1 Výpočet šnekového dopravníku

Ze zadaného dopravovaného množství vypočítám a navrhnu šnekový dopravník. Stoupání šnekovnice volím  $h = 0,15$  [m]. Součinitel sklonu dopravníku  $\lambda$  jsem zvolil z tabulky 3. Výpočty provedeny podle [16] [17].

Tabulka 3 Součinitel sklonu dopravníku [16]

$\varepsilon$ [deg]	0	5	10	15	20
$\lambda$ [-]	1	0,9	0,8	0,7	0,6

### Výpočet průměru šnekovnice

#### Dopravované množství

$$Q = 3\,600 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \cdot n \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda \quad (2.1.1)$$

#### Optimální otáčky

$$n_{opt} = 0,35 \cdot D^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1.2)$$

Hodnotu  $n_{opt}$  dosadím do rovnice (2.1.1) za  $n$ .

Z rovnice (2.1.1) vyjádřím průměr  $D$ .

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{4 \cdot Q}{3\,600 \cdot \pi \cdot \rho_s \cdot h \cdot 0,35 \cdot k_\varphi \cdot \lambda}\right)^2} \quad (2.1.3)$$

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{4 \cdot 1400}{3\,600 \cdot \pi \cdot 450 \cdot 0,15 \cdot 0,35 \cdot 0,98 \cdot 0,6}\right)^2} = 0,108 \text{ [m]}$$

Volím průměr šnekovnice  $D = 0,48$  [m].



Dosazením zvoleného průměru  $D$  do (2.1.2) vypočítám optimální otáčky.

$$n_{opt} = 0,35 \cdot 0,48^{-\frac{1}{2}} = 0,51 \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (2.1.4)$$

### **Výpočet kritických otáček**

#### **Úhlová rychlost**

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2.1.5)$$

Základní podmínka činnosti dopravníku

Odstředivá síla se musí rovnat nebo být menší než tíha dopravovaného materiálu.

$$m \cdot 0,5 \cdot D \cdot \omega^2 \leq m \cdot g \quad (2.1.6)$$

Po dosazení rovnice (2.1.5) do rovnice (2.1.6), kterou jsem následně upravil, jsem vypočítal kritické otáčky.

$$n_{kr} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{0,5 \cdot D}} \quad (2.1.7)$$

$$n_{kr} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,5 \cdot 0,48}} = 1,02 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

### **Výpočet skutečných otáček**

Skutečné otáčky jsem spočítal ze vzorce (2.1.1), za průřez dopravované plochy dosadím velikost mezikruží trubky šneku a průměr šnekovnice. Průměr trubky šneku  $d_3 = 323,9 \text{ [mm]}$  jsem dosadil podle tabulky 6.

$$n_{sk} = \frac{Q}{3\,600 \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \right) \cdot h \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda} \quad (2.1.8)$$

$$n_{sk} = \frac{1400}{3\,600 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0,48^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,3239^2}{4} \right) \cdot 0,15 \cdot 450 \cdot 0,98 \cdot 0,6} = 0,1 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

### **Rychlost šnekovnice**

$$v = h \cdot n_{sk} \quad (2.1.9)$$

$$v = 0,15 \cdot 0,1 = 0,015 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

### **Výkon na hřídeli dopravníku**

Délka dopravníku  $L = 5,8 \text{ [m]}$  dle kapitoly 2.2.4.

$$P_k = \frac{Q \cdot L}{3\,600} \cdot (w \cdot \cos \varepsilon + \sin \varepsilon) \cdot g \quad (2.1.10)$$

$$P_k = \frac{1\,400 \cdot 5,8}{3\,600 \cdot 1\,000} \cdot (3,2 \cdot \cos 20 + \sin 20) \cdot 9,81 = 0,074 \text{ [kW]}$$

Součinitel odporu proti pohybu  $w$  jsem určil z podobnosti dopravovaného materiálu podle tabulky 4. Síran amonný se nejvíce podobá cementu.

*Tabulka 4 Součinitel odporu proti pohybu [16]*

Dopravovaný materiál	Součinitel odporu $w$
Prach, jemné zrno	2,5
Písek, cement	3,2
Škvára, hlína, popel	4
Ruda	5

$$w = 3,2$$



Obrázek 14 Práškový síran amonný [18]

### **Předběžný příkon motoru**

$$P' = (1,15 \div 1,20) \cdot \frac{P_k}{\eta_c} \quad (2.1.11)$$

$$P' = 1,2 \cdot \frac{0,074}{0,93} = 0,095 \text{ [kW]}$$

### **Celkový odpor materiálu**

$$P' = 1,2 \cdot K \cdot v \cdot \frac{1}{\eta_c}$$

$$K = \frac{P' \cdot \eta_c}{1,2 \cdot v} \quad (2.1.12)$$

$$K = \frac{0,095 \cdot 1\,000 \cdot 0,93}{1,2 \cdot 0,015} = 4\,908 \text{ [N]}$$

### Předběžný točivý moment na hřídeli šneku

$$M'_k = \frac{P'}{2 \cdot \pi \cdot n_{sk}} \quad (2.1.13)$$

$$M'_k = \frac{0,095 \cdot 1\,000}{2 \cdot \pi \cdot 0,1} = 151,2 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

### Volba elektromotoru

Po konzultaci s firmou DSD Dostál, a.s. jsem zvolil převodový motor od firmy SEW EURODRIVE. Motor je řešen pomocí nasouvacího provedení, tzn. dutou hřídelí. Parametry převodového motoru jsou uvedeny v tabulce 5.



Obrázek 15 Převodový motor SEW-EURODRIVE [19]

Tabulka 5 Parametry převodového motoru FA87DRN90L4

P	1,5	kW
$n_v$	6,4	$\text{min}^{-1}$
$M_{km}$	2 240	$\text{N} \cdot \text{m}$
i	229	-
$n_m$	1 461	$\text{min}^{-1}$
$J_m$	1,2	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

### **Skutečný točivý moment na hřídeli šneku**

$$M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_v} \quad (2.1.14)$$

$$M_k = \frac{1,5 \cdot 1\,000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{6,4}{60}} = 2\,238 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

### **Kontrola na rozběh motoru**

#### **Měrná hmotnost dopravovaného materiálu**

$$q = \frac{Q}{3\,600 \cdot v} \quad (2.1.15)$$

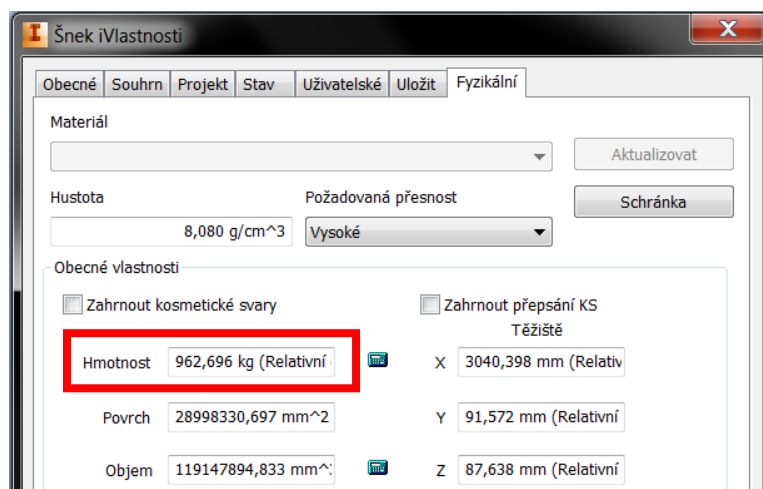
$$q = \frac{1400}{3\,600 \cdot 0,015} = 25,93 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-1}\text{]}$$

#### **Statický moment od zatížení dopravníku**

$$M_{SM} = \frac{1}{n_e} \cdot K \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_c \cdot i} \quad (2.1.16)$$

$$M_{SM} = \frac{1}{1} \cdot 4\,903 \cdot \frac{0,48}{2} \cdot \frac{1}{0,93 \cdot 238} = 5,31 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Hmotnost šnekovnice  $m_s$  jsem určil pomocí programu Autodesk Inventor 2014, dle automatického počítání hmotnosti na základě objemu a přiděleného druhu materiálu – nerezová ocel.



Obrázek 16 Hmotnost šnekovnice

$$m_s = 963 \text{ [kg]}$$

#### Moment setrvačnosti materiálu a šnekovnice

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot L) + m_s] \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (2.1.17)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot [(25,93 \cdot 5,8) + 963] \cdot \left(\frac{0,48}{2}\right)^2 = 32,1 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

#### Celkový moment setrvačnosti

$$J_c = \frac{J_1}{\eta_c \cdot i} + J_m \quad (2.1.18)$$

$$J_c = \frac{32,1}{0,93 \cdot 229} + 1,2 = 1,35 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

### Rozběhový moment motoru

$$M_a = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 1\,000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_m}{60}} \cdot 2,3$$

(2.1.19)

$$M_a = \frac{1,5 \cdot 1\,000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1\,461}{60}} \cdot 2,3 = 22,55 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

### Doba rozběhu dopravníku

$$t_r = \frac{J_c}{M_a - M_{SM}} \cdot \frac{n_m}{60} \cdot 2 \cdot \pi$$

(2.1.20)

$$t_r = \frac{1,35}{22,55 - 5,31} \cdot \frac{1\,461}{60} \cdot 2 \cdot \pi = 12 \text{ [s]}$$

## 2.2 Přenos tepla hřídele a pláště

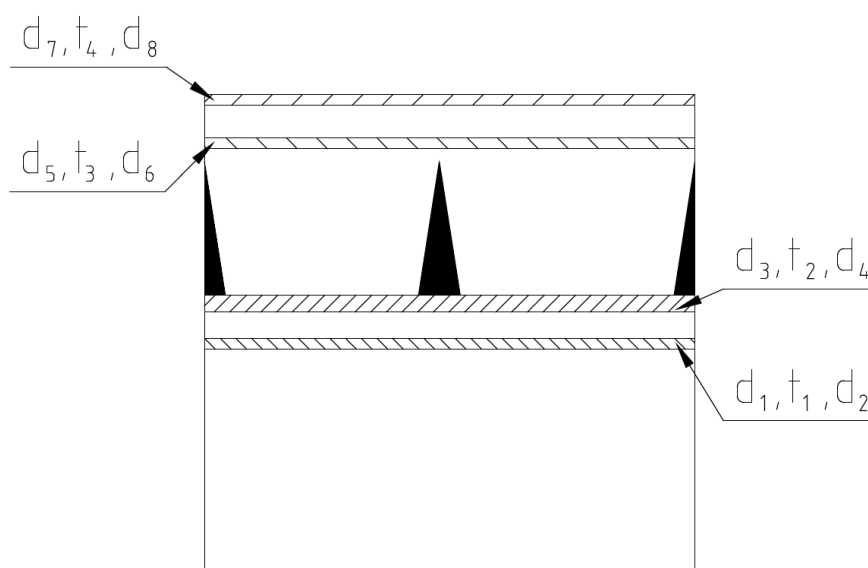
Výpočty provedeny dle skript Přenos tepla a hmoty [6]

### Navrhnuté průměry trubek pro chladič

Materiál trubek 17 240 dle ČSN 42 1043 a ČSN 420929.

Tabulka 6 Průměry a tloušťky trubek chladiče

	vnější průměr (m)	tloušťka stěny (m)	vnitřní průměr (m)
Trubka ve šneku	$d_1 = 0,27305$	$t_1 = 0,00635$	$d_2 = 0,26035$
Trubka šneku	$d_3 = 0,3239$	$t_2 = 0,01$	$d_4 = 0,3039$
Vnitřní trubka pláště	$d_5 = 0,508$	$t_3 = 0,00635$	$d_6 = 0,4953$
Vnější trubka pláště	$d_7 = 0,5588$	$t_4 = 0,00635$	$d_8 = 0,5461$



Obrázek 17 Rozměry trubek

Pro zjednodušení některých výpočtů nahradím teplosměnné plochy o průměrech  $d_3$  a  $d_6$  plochou o novém průměru  $d_n$ , která je rovna součtu průměrů  $d_3$  a  $d_6$ .

$$d_n = d_3 + d_6 \quad (2.2.1)$$

$$d_n = 0,3239 + 0,4953 = 0,8192 \text{ [m]}$$



Volím tloušťku nového průměru  $t_n = 0,01$  [m]

Výpočet procentuálních poměrů teplosměnných průměrů hřídele a pláště vůči novému průměru.

$$p_h = \frac{d_3}{d_n} \quad (2.2.2)$$

$$p_h = \frac{0,3239}{0,8192} = 0,4 \Rightarrow 40 \text{ [%]}$$

$$p_p = \frac{d_6}{d_n} \quad (2.2.3)$$

$$p_p = \frac{0,4953}{0,8192} = 0,6 \Rightarrow 60 \text{ [%]}$$

## 2.2.1 Výpočet přestupu tepla mezi stěnou hřídele a chladicí kapalinou

### Hydraulický průměr hřídele

$$S_h = \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad (2.2.1.1)$$

$$S_h = \frac{\pi \cdot 0,3039^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,27305^2}{4} = 0,014 \text{ [m}^2\text{]}$$

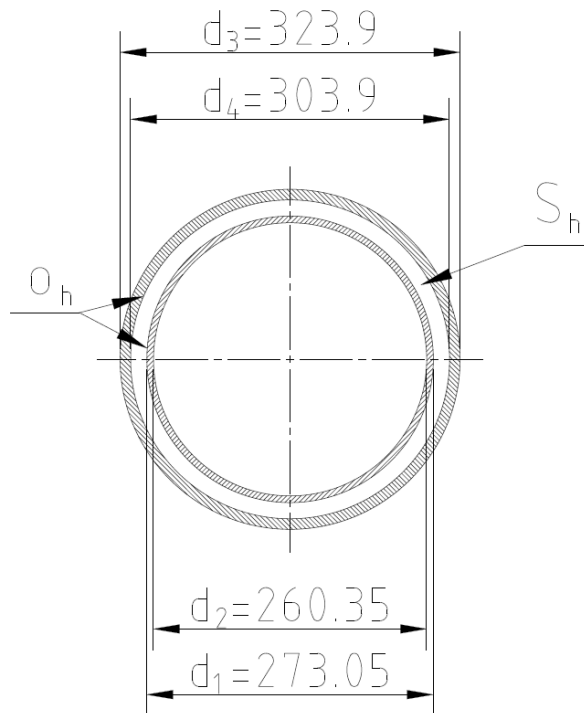
$$o_h = \pi \cdot d_4 + \pi \cdot d_1 \quad (2.2.1.2)$$

$$o_h = \pi \cdot 0,3039 + \pi \cdot 0,27305 = 1,813 \text{ [m]}$$

$$D_{hh} = \frac{4 \cdot S_h}{o_h}$$

(2.2.1.3)

$$D_{hh} = \frac{4 \cdot 0,014}{1,813} = 0,0308 [m]$$



Obrázek 18 Hydraulický průměr hřídele

### **Hmotnostní tok vody**

$$c_v = 4\,186 [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

Teplotní rozdíl chladicího média byl doporučen firmou DSD Dostál a.s.,  $\Delta t_v = 10 [^{\circ}C]$ .

Z rovnice (1.3.1.1) vypočítám hmotnostní tok vody  $m_2$ . Hodnota  $m_2 = m_v$ ,  $m_l = m_m$ ,  $c_{p1} = c_s$ ,  $c_{p2} = c_v$ .

$$m_m \cdot c_s \cdot \Delta t_m = m_v \cdot c_v \cdot \Delta t_v \quad (2.2.1.4)$$

Z rovnice (2.2.1.3) vyjádřím  $m_v$ .

$$m_v = \frac{m_m \cdot c_s \cdot \Delta t_m}{c_v \cdot \Delta t_v} \quad (2.2.1.5)$$

$$m_v = \frac{\frac{1\,400}{3\,600} \cdot 983 \cdot (590 - 150)}{4\,186 \cdot 10} = 4,018 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

#### **Hmotnostní tok vody pro hřídél**

$$m_{vh} = m_v \cdot p_h \quad (2.2.1.6)$$

$$m_{vh} = 4,018 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

#### **Rychlost proudění chladicí kapaliny v hřídeli**

$$\rho = 998 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$$v_h = \frac{m_{vh}}{\rho \cdot S_h} \quad (2.2.1.7)$$

$$v_h = \frac{1,6}{998 \cdot 0,014} = 0,11 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

#### **Reynoldsovo číslo při proudění uvnitř hřídele**

$$\nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$Re_h = \frac{v_h \cdot D_{hh}}{\nu} \quad (2.2.1.8)$$

$$Re_h = \frac{0,11 \cdot 0,0308}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 3374$$

### **Prandtlovo číslo pro střední teplotu tekutiny**

$$\lambda_v = 0,599 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$Pr = \frac{v \cdot \rho \cdot c_v}{\lambda_v} \quad (2.2.1.9)$$

$$Pr = \frac{1,004 \cdot 10^{-6} \cdot 998 \cdot 4186}{0,599} = 7$$

### **Nusseltovo číslo pro hřídel**

$m = 0,3$  pro chlazení podle [6]

$$Nu_h = 0,023 \cdot Re_h^{0,8} \cdot Pr^m \quad (2.2.1.10)$$

$$Nu_h = 0,023 \cdot 3\,374^{0,8} \cdot 7^{0,3} = 27,4$$

### **Součinitel přestupu tepla z chladicí kapaliny do stěny hřídele**

$$\alpha_h = \frac{Nu_h \cdot \lambda}{D_{hh}} \quad (2.2.1.11)$$

$$\alpha_h = \frac{27,4 \cdot 0,599}{0,0308} = 532 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

## **2.2.2 Výpočet přestupu tepla mezi stěnou pláště a chladicí kapaliny**

### **Hydraulický průměr pláště**

$$S_p = \frac{\pi \cdot d_8^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \quad (2.2.2.1)$$

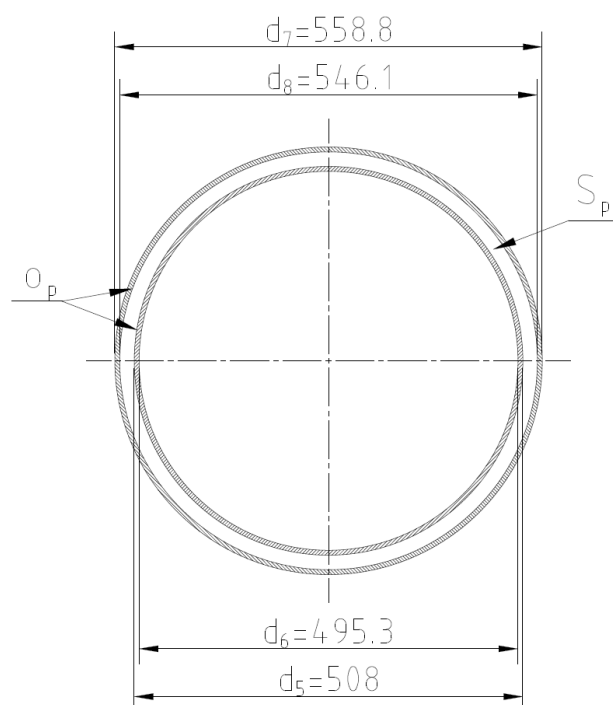
$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,5461^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,508^2}{4} = 0,032 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$o_p = \pi \cdot d_8 + \pi \cdot d_5 \quad (2.2.2.2)$$

$$o_p = \pi \cdot 0,5461 + \pi \cdot 0,508 = 3,312 \text{ [m]}$$

$$D_{hp} = \frac{4 \cdot S_p}{o_p} \quad (2.2.2.3)$$

$$D_{hp} = \frac{4 \cdot 0,032}{3,312} = 0,0386 \text{ [m]}$$



Obrázek 19 Hydraulický průměr pláště

### **Hmotnostní tok vody pro plášť**

$$m_{vp} = m_v \cdot p_p \quad (2.2.2.4)$$

$$m_{vp} = 4,018 \cdot 0,6 = 2,5 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

### **Rychlost proudění chladicí kapaliny v plášti**

$$\rho = 998 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$$v_p = \frac{m_{vp}}{\rho \cdot S_p}$$

(2.2.2.5)

$$v_p = \frac{2,5}{998 \cdot 0,032} = 0,078 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

### **Reynoldsovo číslo při proudění uvnitř pláště**

$$\nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$Re_p = \frac{v_p \cdot D_{hp}}{\nu}$$

(2.2.2.6)

$$Re_p = \frac{0,078 \cdot 0,0386}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 2999$$

### **Nusseltovo číslo pro plášť**

$$m = 0,3 \text{ pro chlazení}$$

$$Nu_p = 0,023 \cdot Re_p^{0,8} \cdot Pr^m$$

(2.2.2.7)

$$Nu_p = 0,023 \cdot 2999^{0,8} \cdot 7^{0,3} = 24,9$$

### **Součinitel přestupu tepla z chladicí kapaliny do stěny pláště**

$$\alpha_p = \frac{Nu_p \cdot \lambda}{D_{hp}}$$

(2.2.2.8)

$$\alpha_p = \frac{24,9 \cdot 0,599}{0,0386} = 386 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

### 2.2.3 Celkový součinitel přestupu tepla mezi stěnami a chladicí tekutinou

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce jsem určil průměrnou hodnotu součinitele tepla mezi stěnami trubek a chladicí tekutinou, která zjednoduší výpočty.

$$\alpha_c = \frac{\alpha_h + \alpha_p}{2} \quad (2.2.3.1)$$

$$\alpha_c = \frac{532 + 386}{2} = 460 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

### 2.2.4 Výpočet potřebné délky chladicí plochy chladiče

Z rovnice (1.3.3.1) jsem vypočítal tepelný výkon chladiče.

$$Q_{ch} = m \cdot c_s \cdot \Delta t_m = \frac{Q}{3600} \cdot c_s \cdot \Delta t_m \quad (2.2.4.1)$$

$$Q_{ch} = \frac{1\,400}{3\,600} \cdot 983 \cdot (590 - 150) = 168\,202 \text{ [W]}$$

#### Střední logaritmický teplotní spád

K výpočtu středního logaritmického teplotního spádu jsem použil rovnice (1.3.3.3), (1.3.3.4) a (1.3.3.5).

$$\Delta t_L = 590 - 30 = 560 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.2.4.2)$$

$$\Delta t_p = 150 - 20 = 130 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.2.4.3)$$

$$\bar{\Delta t} = \frac{560 - 130}{\ln \frac{560}{130}} = 294 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.2.4.4)$$

### Součinitel prostupu tepla válcovou stěnou

$$k_v = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_s \cdot d_n} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_t} \cdot \ln \frac{d_n + 2 \cdot t_n}{d_n} + \frac{1}{\alpha \cdot (d_n + 2 \cdot t_n)}} \quad (2.2.4.5)$$

$$k_v = \frac{\pi}{\frac{1}{43 \cdot 0,8192} + \frac{1}{2 \cdot 17} \cdot \ln \frac{0,8192 + 2 \cdot 0,01}{0,8192} + \frac{1}{460 \cdot (0,8192 + 2 \cdot 0,01)}} = \\ = 99 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$$

### Potřebná délka chladicí plochy

$$Q_{ch} = k_v \cdot \bar{\Delta t} \cdot L \quad (2.2.4.6)$$

$$L = \frac{Q_{ch}}{k_v \cdot \bar{\Delta t}} \quad (2.2.4.7)$$

$$L = \frac{168\,202}{99 \cdot 294} = 5,78 [m]$$

Volím délku chladicí plochy  $L = 5,8 [m]$ .

## **2.2.5 Přepočet tepelného výkonu chladiče pro zvolenou délku**

### Skutečný odvedený výkon chladiče

$$Q_{chs} = k \cdot \bar{\Delta t} \cdot L \quad (2.2.5.1)$$

$$Q_{chs} = 99 \cdot 294 \cdot 5,8 = 168\,815 [W]$$



### Teplo odvedené do hřídele

$$Q_h = Q_{chs} \cdot p_h \quad (2.2.5.2)$$

$$Q_h = 168\,815 \cdot 0,4 = 67\,526 \text{ [W]}$$

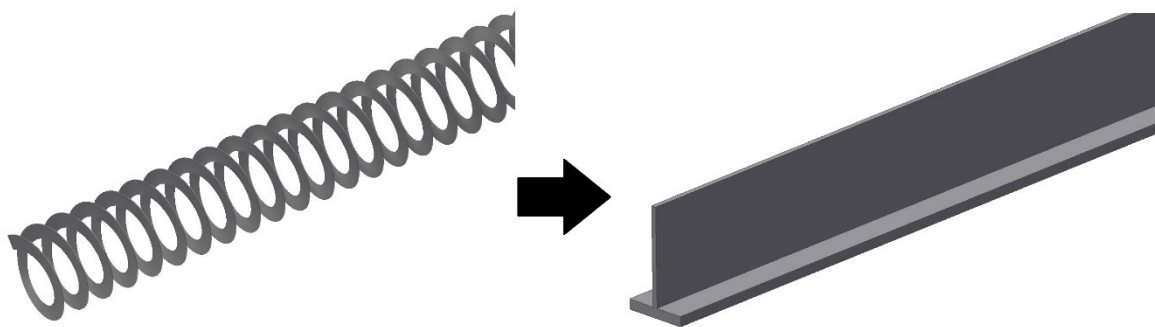
### Teplo odvedené do pláště

$$Q_p = Q_{chs} \cdot p_p \quad (2.2.5.3)$$

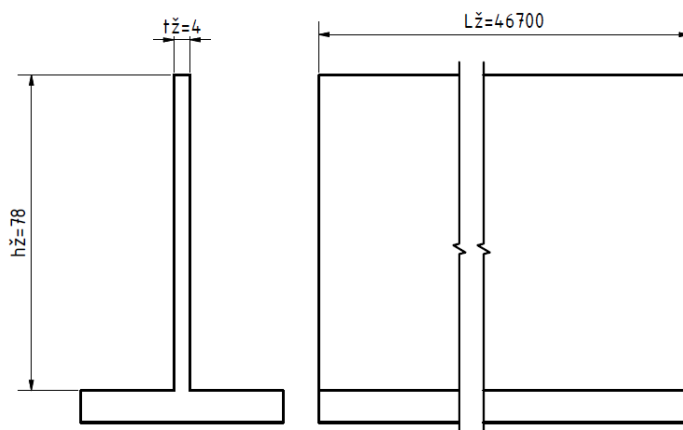
$$Q_h = 168\,815 \cdot 0,6 = 101\,289 \text{ [W]}$$

## 2.3 Přenos tepla listů šnekovnice

Pro výpočet přenosu tepla listů šnekovnice jsem šnekovnici nahradil podélným žebrem. Délku žebra  $L_z$  jsem změřil pomocí programu Autodesk Inventor 2014. Tloušťka plechu šnekovnice je  $t_z = 4 \text{ mm}$ . Výpočty podle knihy Přenos tepla a látky od autora Miroslava Jichy [20].



Obrázek 20 Zjednodušení žebra



Obrázek 21 Rozměry nahrazeného žebra

Tabulka 7 Rozměry žebra

$L_z$	46,7	m
$t_z$	0,004	m
$h_z$	0,07805	m

### **Obvod příčného průřezu žebra**

$$o_z = (L_z + t_z) \cdot 2 \quad (2.3.1)$$

$$o_z = (46,7 + 0,004) \cdot 2 = 93,4 [m]$$

### **Velikost příčného průřezu žebra**

$$S_z = L_z \cdot t_z \quad (2.3.2)$$

$$S_z = 46,7 \cdot 0,004 = 0,19 [m^2]$$

$$m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}} = \sqrt{\frac{\alpha_s \cdot o_{\dot{z}} \cdot h_{\dot{z}}^2}{\lambda_t \cdot S_{\dot{z}}}} \quad (2.3.3)$$

$$m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}} = \sqrt{\frac{43 \cdot 93,4 \cdot 0,07805^2}{17 \cdot 0,19}} = 2,75$$

$$\tan h(m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}) = \frac{e^{m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}} - e^{-m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}}}{e^{m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}} + e^{-m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}}} \quad (2.3.4)$$

### **Množství tepla předané z materiálu do listů šnekovnice**

$$Q_{\dot{z}} = \tan h(m_{\dot{z}} \cdot L_{\dot{z}}) \cdot \sqrt{\lambda \cdot S_{\dot{z}} \cdot \alpha_s \cdot o_{\dot{z}} \cdot \Delta t} \quad (2.3.5)$$

$$Q_{\dot{z}} = \tan h(2,75) \cdot \sqrt{17 \cdot 0,19 \cdot 43 \cdot 93,4 \cdot 294} = 33\,212 \text{ [W]}$$

Z výpočtů je patrné, že listy šnekovnice mají vliv na přenos tepla z chlazené sypké hmoty do chladicího média. Teplo odvedené pomocí hřidelí je 67 526 W a teplo, které odvedou listy šnekovnice, je 33 212 W.

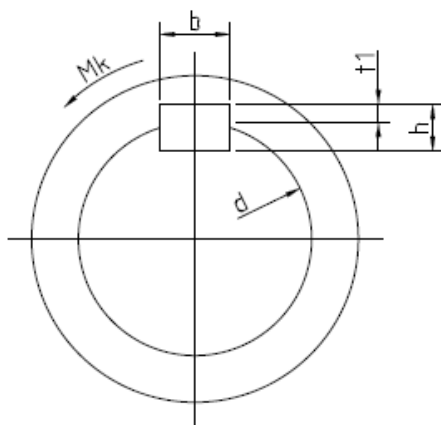
### 3 Konstrukční výpočty

V konstrukčních výpočtech jsem provedl kontrolu těsného pera ČSN 02 2562, které přenáší točivý moment od převodového motoru na hřídel šnekovnice. Dále provedu početní kontrolu průhybu hřídele šnekovnice.

#### 3.1 Kontrola těsného pera ČSN 02 2562

Tabulka 8 Rozměry těsného pera

d	60	mm
b	18	mm
h	11	mm
l	160	mm
t <sub>lp</sub>	4,2	mm



Obrázek 22 Rozměry těsného pera

#### Kontrola pera na otlačení

$$p = \frac{F_p}{S_{pl}} \leq p_D \quad (3.1.1)$$

$$F_p = \frac{2 \cdot M_k}{d} \quad (3.1.2)$$

Otlačovaná délka těsného pera

$$l_v = l - b \quad (3.1.3)$$

Otlačovaná plocha těsného pera

$$S_{Pl} = t_{1p} \cdot l_v \quad (3.1.4)$$

Do vztahu (3.1.1) jsem dosadil vztahy (3.1.2), (3.1.3), (3.1.4)

$$p = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot t_{1p} \cdot (l - b)} \quad (3.1.5)$$

$$p = \frac{2 \cdot 2\,238 \cdot 1\,000}{60 \cdot 4,2 \cdot (160 - 18)} = 125,1 \text{ [MPa]}$$

$$p_D = 150 \text{ [MPa]}, \text{ volím dle [21]}$$

$$p < p_D \quad (3.1.6)$$

$$125,1 < 150$$

Podmínka vyhovuje

**Kontrola pera na střih**

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} \leq \tau_{DS} \quad (3.1.7)$$

$$F_s = \frac{2 \cdot M_k}{d} \quad (3.1.8)$$

### Střižná plocha těsného pera

$$S_s = b \cdot l \quad (3.1.9)$$

Do vztahu (3.1.7) jsem dosadil vztahy (3.1.8), (3.1.9)

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot b \cdot l} \leq \tau_{DS} \quad (3.1.10)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 2\,238 \cdot 1\,000}{60 \cdot 18 \cdot 160} = 25,9 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{DS} = 70 \text{ [MPa]}, \text{ volím dle [21]}$$

$$\tau_s < \tau_{DS} \quad (3.1.11)$$

$$25,9 < 70$$

Podmínka vyhovuje

## **3.2 Kontrola průhybu šnekovnice**

Výpočet proveden podle [17] [21].

### Kvadratický moment trubky šneku

$$I_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (d_3^4 - d_4^4) \quad (3.2.1)$$

$$I_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (0,3239^4 - 0,3039^4) = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$$

### **Kvadratický moment trubky ve šneku**

$$I_2 = \frac{\pi}{64} \cdot (d_1^4 - d_2^4) \quad (3.2.2)$$

$$I_2 = \frac{\pi}{64} \cdot (0,27305^4 - 0,26035^4) = 4,73 \cdot 10^{-5} [m^4]$$

### **Celkový kvadratický moment trubek**

$$I = I_1 + I_2 \quad (3.2.3)$$

$$I = 1,22 \cdot 10^{-4} + 4,73 \cdot 10^{-5} = 1,693 \cdot 10^{-4} [m^4]$$

### **Délka šnekovnice mezi podpěrami**

Délku  $L_s = 6,024$  [m] jsem určil pomocí programu Autodesk Inventor 2014.

### **Hmotnost vody v trubce šnekovnice**

$$m_{vš} = \rho \cdot S \cdot L_s = \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_1^2) \cdot L_s \quad (3.2.4)$$

$$m_{vš} = 998 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,3039^2 - 0,27305^2) \cdot 6,024 = 84 [kg]$$

### **Spojité zatížení hmotnosti šneku a hmotnosti vody**

$$q_s = \frac{(m_s + m_{vš}) \cdot g}{L_s} \quad (3.2.5)$$

$$q_s = \frac{(963 + 84) \cdot 9,81}{6,024} = 1\,705 [N \cdot m^{-1}]$$

### **Průhyb šnekovnice**

Volím  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  [Pa] dle [21]

$$y = \frac{5 \cdot q_s \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.2.6)$$

$$y = \frac{5 \cdot 1\,705 \cdot 6,024^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,693 \cdot 10^{-4}} = 8,2 \cdot 10^{-4} [m]$$

### **Bezpečnost průhybu**

$$k = \frac{y_{max}}{y} \quad (3.2.7)$$

$$k = \frac{7,65}{0,82} = 9,3 [-]$$

Dovolená bezpečnost  $k_d$  doporučena zadavatelskou firmou DSD Dostál, a.s..

$$k_d = 3 [-]$$

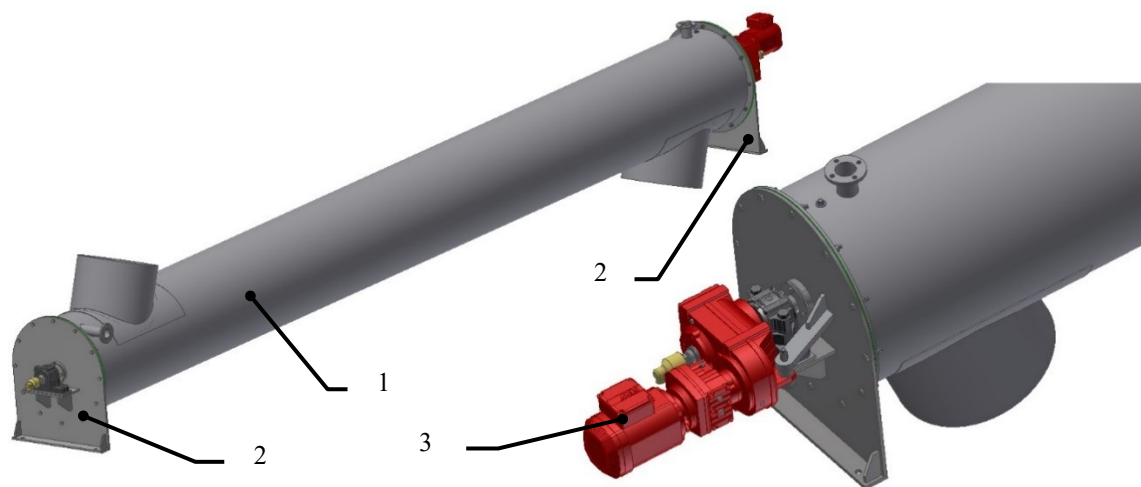
$$k > k_d \quad (3.2.8)$$

$$9,3 > 3$$

Podmínka splněna



## 4 Výsledný 3D model



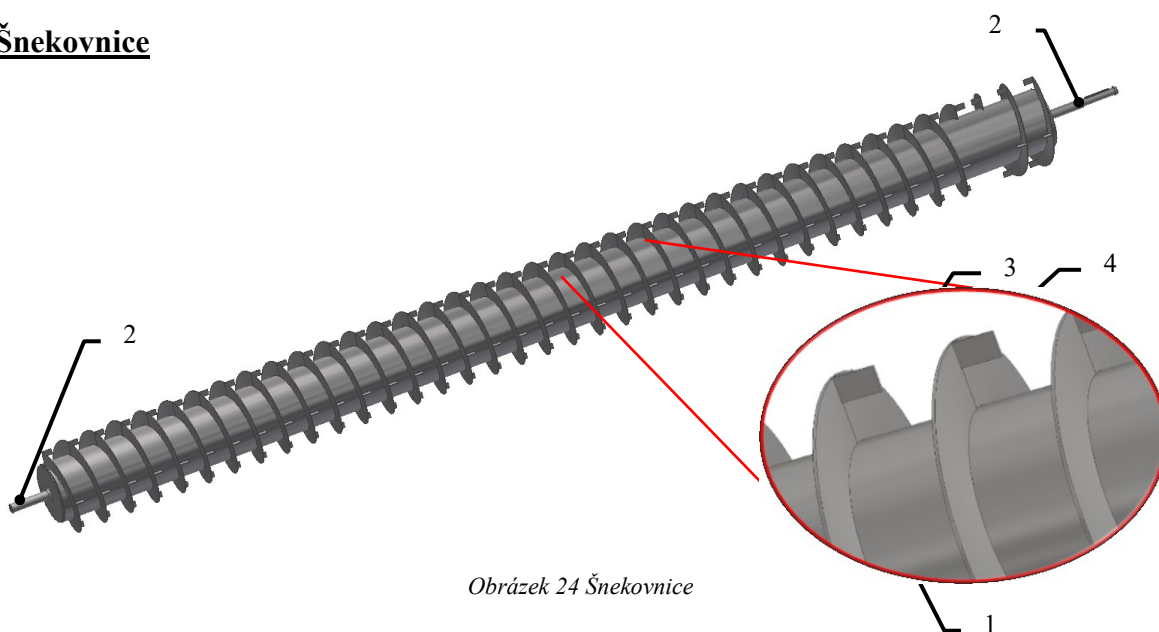
Obrázek 23 Chladicí šnekový dopravník

Poz. 1 Plášť šneku

Poz. 2 Čelo

Poz. 3 Převodový motor

### Šnekovnice



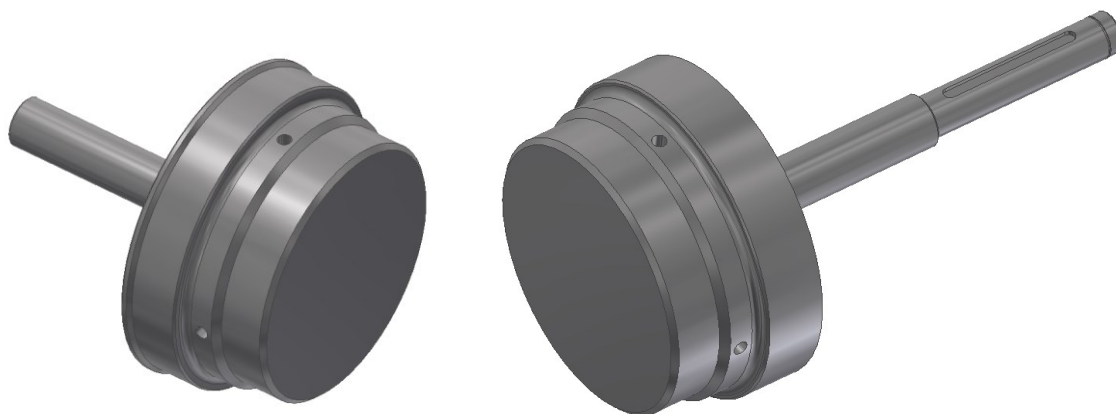
Obrázek 24 Šnekovnice

Poz. 1 Dvojitá stěna hřídele šnekovnice

Poz. 2 Přívodní hřídele

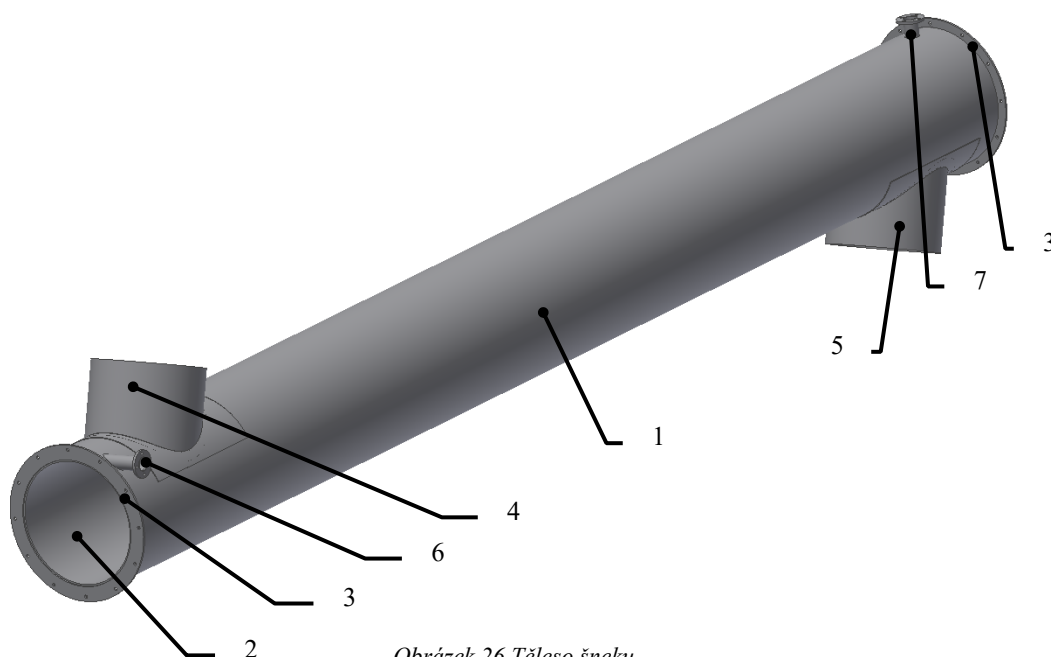
Poz. 3 Listy šnekovnice

Poz. 4 Lopatky



Obrázek 25 Přívodní hřídele

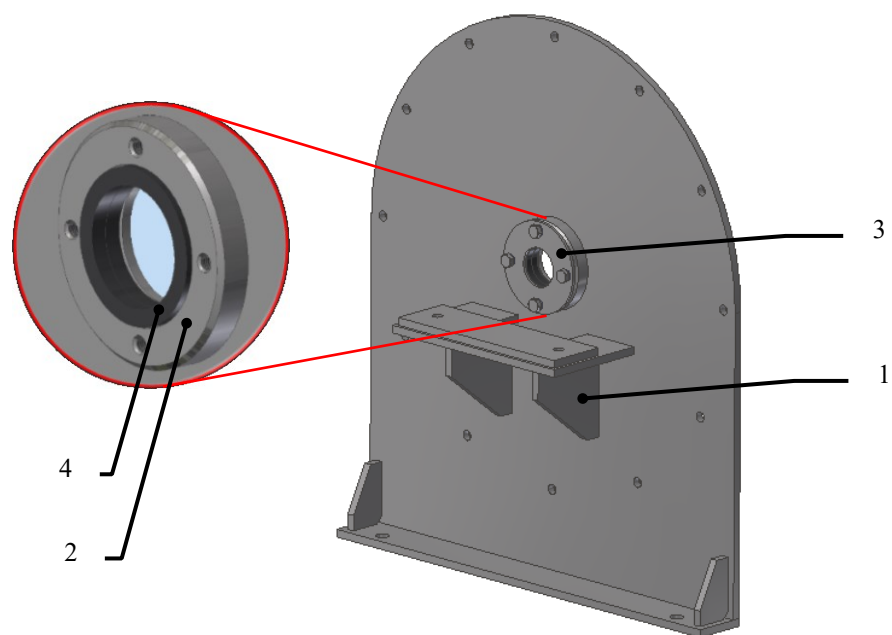
### Plášť šneku



Obrázek 26 Těleso šneku

- Poz. 1 Vnější trubka
- Poz. 2 Vnitřní trubka
- Poz. 3 Příruby
- Poz. 4 Násepka
- Poz. 5 Výsypka
- Poz. 6 Přívod chladicí kapaliny
- Poz. 7 Odvod chladicí kapaliny

## Čelo



Obrázek 27 Čelo

Poz. 1 Držák ložiskového domku

Poz. 2 Kryt

Poz. 3 Přírubová ucpávka

Poz. 4 Grafitová ucpávková šňůra

## 5 Technický popis

Chladicí šnekový dopravník se skládá ze šnekovnice, pláště dopravníku, čel a převodového motoru.

Hřídel šnekovnice je tvořena dvojitou stěnou, ve které proudí chladicí voda. Materiál trubek je z nerezové oceli 17 240. Vnější trubka má průměr  $d_3 = 323,9$  mm a tloušťku  $t_2 = 10$  mm, vnitřní trubka má průměr  $d_1 = 273,05$  mm o tloušťce  $t_1 = 6,35$  mm. Pro lepší účinnost chlazení je šnekovnice opatřena nerezovými lopatkami, tyto lopatky dopravovaný materiál promíchávají a zlepšují chlazení. Nerezové trubky jsou navařeny na přírodní hřídele, které přivádí a odvádí chladicí médium do trubek.

V osách přírodních hřídelů je vyvrtaná díra, navazující na radiální 4 díry, které jsou vyvrtané po obvodě hřídele s roztečí  $90^\circ$ . Pomocí vyvrtaných děr, je přiváděno a odváděno chladicí médium mezi trubky. Materiál přírodních hřídelů je norma 17 240. Šneková hřídel je umístěna ve valivých ložiskách, které jsou uloženy v ložiskových domech.

Plášť šnekového dopravníku se skládá z dvojité stěny o délce 5,8 m. Na koncích vnější nerezové trubky o průměru  $d_7 = 558,8$  mm a tloušťce  $t_4 = 6,35$  mm jsou přivařeny nerezové příruby. V přírubách jsou vyvrtané díry pro připevnění čel. Do přírub je vsunuta a přivařena nerezová vnitřní trubka o průměru  $d_5 = 508$  mm a tloušťce  $t_3 = 6,35$  mm. Materiál trubek je 17 240. Mezi stěnami trubek proudí chladicí médium, které je přiváděno a odváděno pomocí přívodů navařených k vnější trubce. Na koncích pláště šneku jsou vypálené díry, pro vsunutí a následnému přivaření násypky a výsypky.

Spojení čela s pláštěm šneku je zajištěno pomocí šroubů. Čelo je vyrobené z nerezového materiálu 17 240. Mezi čelem a tělesem šneku je bavlňená těsnicí šňůra. Pro těsnění kolem hřídele je použita grafitová ucpávková šňůra, přitlačována nerezovým krytem upevněným šrouby k přivařené přírubové ucpávce. Nezbytným dílem je držák na ložisko, na které se přišroubuje ložiskový domek.

## 6 Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na návrh chladicího šnekového dopravníku, u kterého jsem posuzoval přenos tepla listů šnekovnice z chlazené sypké hmoty do chladicího média.

V první části práce jsem uvedl řešerši z oblasti chladicích šnekových dopravníků, dále jsem popsal možné typy chladicích šnekových dopravníků. A uvedl jsem jejich konstrukční řešení.

Dále jsem navrhl a spočítal šnekový dopravník, který má dvojitou stěnu hřídele a dvojitou stěnu tělesa pláště. U navrženého chladicího dopravníku jsem spočítal odvedené teplo, které odvede hřídel a těleso pláště. V dalších výpočtech jsem spočítal, kolik tepla odvedou listy šnekovnice.

V konstrukčních výpočtech jsem zkontroloval, zda vyhovuje těsné pero mezi přívodní hřídeli šnekovnice a motoru. Dále jsem provedl kontrolu na průhyb hřídele šnekovnice.

Na závěr jsem zhotovil výkresovou dokumentaci. A to sestavný výkres a výkres šnekovnice.

K vypracování bakalářské práce jsem využil znalostí, které jsem získal při studiu na vysoké škole a praktických zkušenostech získaných ve firmě DSD Dostál, a.s.

Poděkování:

Chci poděkovat panu Ing. Janu Nečasovi, Ph.D a Ing. Jiřímu Nejdlému za rady, které mi poskytli a za pomoc při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě DSD Dostál, a.s., že mi umožnila vypracovat bakalářskou práci v její firmě a za poskytování nejrůznějších podkladů a materiálů k vypracování bakalářské práce.

Děkuji Centru ENET, VŠB – TU Ostrava za možnost využití jeho výzkumné infrastruktury.

## Seznam použité literatury

- [1] *Binder+co* [online]. Rakousko, 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<http://www.binder-co.com/>
- [2] TRINOM. *Rotační bubnové chladiče* [online]. Přerov: TRINOM, 2012 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.trinomprerov.cz/produkty/rotacni-bubny/rotacni-bubnove-chladice>
- [3] KWS. *Heat Transfer Screw Processors* [online]. Texas: KWS Manufacturing Company, © 2016 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<http://www.kwsmfg.com/products/heat-transfer-screw-processors.htm>
- [4] KULHÁNEK, Jakub. *Chladič Ar* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-03-31].  
Diplomová práce. VŠB - Technická universita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Noga, CSc.
- [5] JONÁK, Martin. *Návrh výměníků tepla pro vysokoteplotní aplikace* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29250](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29250).  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. VÍT KERMES, Ph.D.
- [6] KOLAT, Pavel. *Přenos tepla a hmoty*. 3. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, 266 s. ISBN 80-248-0003-9.
- [7] Tzbinfo. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II)* [online]. Praha: Topinfo, © 2001-2016 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [8] JÍLEK, Miroslav a Zdeněk RANDA. *Termomechanika: sbírka příkladů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 168 s. ISBN 8001031071.
- [9] *Aplikovaná termomechanika - Přednáška 6 Výměníky tepla* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z:  
<http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-06.pdf>
- [10] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 187 s. [cit. 2016-03-30]. ISBN 978-80-248-2576-2. Dostupné z:  
[http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP\\_FINAL\\_LAST.pdf](http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP_FINAL_LAST.pdf)

- [11] DSD [online]. Přerov: DSD-Dostál, a.s., © 2002 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z:  
<http://www.dsd-dostal.cz/index.php/cs/>
- [12] DSD-DOSTÁL, a.s. *Firemní materiál*. Přerov, 2006.
- [13] RATAJ, České Budějovice. *Chladicí šnekový dopravník pro chlazení sypkých a lepidelných materiálů* [online]. Vynálezce: Rataj Stanislav. Příhl. 16.7.2009. MPT: B 65 G 33/12, B 65 G 33/26, F 22 B 1/00. Čís. patentu 301617, b.r. [cit. 2016-04-03]. Úřad průmyslového vlastnictví.
- [14] J. Engelsmann AG [online]. Německo, © 2015 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z:  
<http://www.engelsmann.de>
- [15] DEUBLIN [online]. USA, 2016 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z:  
<http://www.deublin.eu/home-en>
- [16] POLÁK, Jaromír, Karel BAILOTTI, Jiří PAVLIŠKA a Leopold HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0493-X.
- [17] KUČERA, Martin. *Dlouhý šnekový dopravník*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jan Nečas Ph.D.
- [18] *Aluminum Sulfate: Ammonium Sulfate* [online]. c2008–2015 [cit. 2016-05-02].  
Dostupné z: <http://www.aluminumsulfate.net/Ammonium-Sulfate.html>
- [19] SEW EURODRIVE [online]. Německo, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z:  
<http://www.seweurodrive.com/>
- [20] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: Vysoké učení technické, 1985. ISBN 80-214-1062-0.
- [21] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Regenerační výměník [7] .....	16
Obrázek 2 Souproudý výměník .....	17
Obrázek 3 Protiproudý výměník .....	18
Obrázek 4 Teplotní pole [10] .....	21
Obrázek 5 Laminární a turbulentní proudění [10] .....	23
Obrázek 6 Jednotrubkový chladič [12] .....	24
Obrázek 7 Dvoutrubkový chladič [12] .....	25
Obrázek 8 Vertikální chladič [11] .....	26
Obrázek 9 Šnekový dopravník pro chlazení sypkých a lepidly materiálů [13] .....	27
Obrázek 10 Šnekový chladič - trubková šnekovnice [14] .....	28
Obrázek 11 Těsnění rotačního přívodu [15] .....	29
Obrázek 12 Plochy 2 světelných pásů [15] .....	29
Obrázek 13 Rotační přívod DEUBLIN [15] .....	30
Obrázek 14 Práškový síran amonný [18] .....	35
Obrázek 15 Převodový motor SEW-EURODRIVE [19] .....	36
Obrázek 16 Hmotnost šnekovnice .....	38
Obrázek 17 Rozměry trubek .....	40
Obrázek 18 Hydraulický průměr hřídele .....	42
Obrázek 19 Hydraulický průměr pláště .....	45
Obrázek 20 Zjednodušení žebra .....	49
Obrázek 21 Rozměry nahrazeného žebra .....	50
Obrázek 22 Rozměry těsného pera .....	52
Obrázek 23 Chladicí šnekový dopravník .....	57
Obrázek 24 Šnekovnice .....	57
Obrázek 25 Přívodní hřídele .....	58
Obrázek 26 Těleso šneku .....	58
Obrázek 27 Čelo .....	59

## Přílohy

**Název výkresu:**

CHLADICÍ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK  
ŠNEKOVNICE

**Číslo výkresu:**

STR0306  
STR0306-1

**Formát:**

A0  
A2